

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jerami Padi

Jerami padi adalah bagian batang dan tangkai tanaman padi setelah dipanen butir-butir buahnya (Pratiwi, 2016). Jerami adalah hasil samping usaha pertanian berupa tangkai dan batang tanaman sereal yang telah kering, setelah biji-bijiannya dipisahkan. Massa jerami kurang lebih setara dengan massa biji-bijian yang dipanen.

Jerami memiliki banyak fungsi, di antaranya sebagai bahan bakar, pakan ternak, alas atau lantai kandang, pengemas bahan pertanian (misal telur), bahan bangunan (atap, dinding, lantai), mulsa, dan kerajinan tangan. Jerami umumnya dikumpulkan dalam bentuk gulungan, diikat, maupun ditekan. Mesin baler dapat membentuk jerami menjadi gulungan maupun kotak. Limbah abu jerami padi sendiri belum dimanfaatkan, padahal abu tersebut mempunyai potensi menjadi material baru yang lebih bermanfaat, misalnya zeolite sintesis karena kandungan silika didalamnya (Soenardjo, 1991). Jerami padi dapat dijadikan sumber adsorben alternatif sebagai pengganti bahan kimia murni.



Sumber : Fahrul, 2018

Gambar 2.1. Jerami Padi

Berbagai penelitian dilakukan guna mengetahui komposisi yang terkandung dalam jerami seperti yang dapat dilihat di tabel 2.1 Komposisi Jerami Padi menurut Puwaningsi (2012)

Tabel 2.1. Komposisi Jerami Padi menurut Puwaningsi

Komponen	% Berat
Selulosa	36,5
Hemiselulosa	33,8
Lignin	12,3
bahan ekstraktif	3,8
Abu	13,3
Silica	70,8

(Puwaningsi,2012)

Begitu pula dengan penelitian yang dilakukan oleh Zaky (2008) didapatkan hasil komposisi jerami padi seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2. Komposisi Jerami Padi menurut Zaky

Komponen	% Berat
Selulosa	32-47
Hemiselulosa	19.27
Lignin	5-24
Abu	13-20

(Zaky, 2008)

2.2 Adsorpsi

2.2.1 Definisi Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses dimana molekul-molekul fluida menyentuh dan melekat pada permukaan padatan (Nasruddin, 2005). Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi menempel pada permukaan padatan tersebut (Suryawan, Bambang 2004). Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu substansi pada permukaan zat padat. Pada fenomena adsorpsi, terjadi gaya tarik-menarik antara substansi terserap dan penyerapnya.

Adsorpsi adalah proses penggumpalan substansi terlarut dalam larutan oleh permukaan zat penyerap yang membuat masuknya bahan dan mengumpul dalam suatu zat penyerap. Keduanya sering muncul bersamaan dengan suatu proses maka ada yang menyebutnya sorpsi. Pada Adsorpsi ada yang disebut

Adsorben dan Adsorbat. Adsorben adalah zat penyerap, sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap (Giyatmi, 2008).

Dalam sistem adsorpsi, fasa teradsorpsi dalam solid disebut adsorbat sedangkan solid tersebut adalah adsorben. Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Adanya gaya ini, padatan cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan ke dalam permukaannya. Akibatnya konsentrasi molekul pada permukaan menjadi lebih besar dari pada dalam fasa gas zat terlarut dalam larutan. Proses adsorpsi hanya terjadi pada permukaan, tidak masuk dalam fasa bulk/ruah.

2.2.2 Jenis Adsorpsi

Berdasarkan kekuatan dalam berinteraksi, adsorpsi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Suryawan, Bambang 2004).

a. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Gaya Van der Waals adalah gaya tarik-menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat pada adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan adsorben ke bagian permukaan adsorben lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika merupakan peristiwa reversibel sehingga jika kondisi operasinya diubah, maka akan membentuk kesetimbangan yang baru. Proses adsorpsi fisika terjadi tanpa memerlukan energi aktivasi. Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi ini dapat diputuskan dengan mudah yaitu dengan pemanasan pada temperatur sekitar 150–200°C selama 2-3 jam

b. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia merupakan adsorpsi yang terjadi karena terbentuknya ikatan kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk merupakan lapisan monolayer. Pada adsorpsi kimia yang terpenting adalah spesifikasi dan kepastian pembentukan monolayer

sehingga pendekatan yang digunakan adalah dengan menentukan kondisi reaksi. Adsorpsi kimia tidak bersifat reversibel dan umumnya terjadi pada suhu tinggi diatas suhu kritis adsorbat. Oleh karena itu, untuk melakukan proses desorpsi dibutuhkan energi yang lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat

Tabel 2.3 Jenis Adsorpsi

Adsorpsi Fisika	Adsorpsi kimia
Entalpi adsorpsi kecil (biasanya kurang dari 20 KJ/mol)	Entalpi adsorpsi besar (biasanya antara 40-400 KJ/mol)
Terjadi adsorpsi multiayer	Kebanyakan monolayer
Terjadi pada temperatur dibawah titik didih adsorbat	Dapat terjadi pada temperatur tinggi
Tidak melibatkan energi aktivasi	Proses adsorpsi terjadi bila sistem mempunyai energi aktivasi

Sumber : Giyatmi, 2008

2.2.3 Mekanisme Adsorpsi

Menurut Reynolds (1982), mekanisme penyerapan adsorben terhadap zat terlarut terbagi menjadi 4 tahap diantaranya :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film yang mengelilingi adsorben (film diffusion process).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler atau pori dalam adsorben (pore diffusion process).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben

2.2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Dalam proses adsorpsi banyak faktor yang dapat mempengaruhi laju proses adsorpsi dan banyaknya adsorbat yang dapat diserap. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi sebagai berikut:

a. Luas Permukaan Adsorben

Proses adsorpsi merupakan fenomena yang terjadi di permukaan adsorben. Kapasitas adsorpsi suatu material sebanding dengan luas permukaan spesifik dengan anggapan bahwa total dari luas permukaan dapat melakukan

proses adsorpsi (Sari, 2016). Maka dari itu, semakin besar luas permukaan dan semakin banyak pori yang dimiliki suatu adsorben, maka semakin banyak adsorbat yang terserap dan laju adsorpsi semakin meningkat (Weber, 1972). Luas permukaan yang sangat berpengaruh terhadap proses adsorpsi adalah yang terletak di dimensi molekul dari pori-pori (Culp dkk, 1978).

b. Karakteristik Adsorben

Karakteristik adsorben yang mempengaruhi laju adsorpsi adalah ukuran dan luas permukaan partikel. Semakin kecil adsorben maka laju adsorpsi akan semakin cepat, sementara semakin luas permukaan adsorben maka jumlah partikel adsorbat yang diserap akan semakin banyak.

c. Kelarutan Adsorbat

Proses adsorpsi terjadi saat adsorbat terpisah dari larutan dan menempel di permukaan adsorben. Partikel adsorbat yang terlarut memiliki afinitas yang kuat. Tetapi ada pengecualian, beberapa senyawa yang sedikit larut sulit untuk diserap, sedangkan ada beberapa senyawa yang sangat larut namun mudah untuk diserap.

d. Ukuran Pori Adsorben

Ukuran pori merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi, karena senyawa adsorbat harus masuk ke dalam pori adsorben. Proses adsorpsi akan lancar apabila ukuran pori dari adsorben cukup besar untuk dapat memasukan adsorbat ke dalam pori adsorben. Kebanyakan air limbah mengandung berbagai ukuran partikel adsorbat. Keadaan ini dapat merugikan, karena partikel yang lebih besar akan menghalangi partikel kecil untuk dapat masuk ke dalam pori adsorben. Akan tetapi gerakan konstan dari partikel adsorbat dapat mencegah terjadinya penyumbatan. Gerakan partikel kecil yang cepat membuat partikel adsorbat yang lebih kecil akan terdifusi lebih cepat ke dalam pori.

e. pH

pH memiliki pengaruh yang besar terhadap tingkat proses adsorpsi, disebabkan ion hidrogen dapat menyerap dengan kuat, selain itu pH juga dapat mempengaruhi ionisasi. Senyawa organik asam lebih mudah diadsorpsi pada

suasana pH rendah, sedangkan senyawa organik basa lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH tinggi.

f. Tekanan Adsorbat

Tekanan adsorbat Untuk setiap jenis adsorpsi berdasarkan interaksi molekular yang terjadi, tekanan adsorbat akan mempengaruhi jumlah molekul adsorbat. Pada adsorpsi fisika, bila tekanan adsorbat meningkat, jumlah molekul adsorbat akan bertambah. Namun pada adsorpsi kimia, jumlah molekul adsorbat akan berkurang bila tekanan adsorbat meningkat.

g. Temperatur

Temperatur dapat mempengaruhi laju adsorpsi. Laju adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya temperatur, begitu pula sebaliknya. Proses adsorpsi merupakan proses eksotermik, maka derajat adsorpsi akan meningkat saat temperatur rendah dan turun pada temperatur tinggi.

h. Waktu Kontak

Waktu kontak mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap, disebabkan perbedaan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat berbeda-beda. (Mirandha, 2016).

2.2.5 Metode Adsorpsi

Metode adsorpsi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu statis (batch) dan dinamis (kolom).

- a. Cara statis (batch) yaitu memasukan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah berisi adsorben, selanjutnya diaduk dalam waktu tertentu. Kemudian dipisahkan dengan cara penyaringan atau dekantasi. Komponen yang telah terikat pada adsorben dilepaskan kembali dengan melarutkan adsorben dalam pelarut tertentu dan volumenya lebih kecil dari volume larutan mula-mula.
- b. Cara dinamis (kolom) yaitu memasukan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah berisi adsorben, selanjutnya komponen yang telah terserap dilepaskan kembali dengan mengalirkan pelarut (efluen) sesuai yang volumenya lebih kecil (Apriliani, 2010).

2.3 Adsorben

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap partikel dalam proses adsorpsi. Adsorben yang sering digunakan dalam proses adsorpsi adalah arang aktif atau karbon aktif. Untuk adsorbent dengan luas permukaan dan berat tertentu, zat yang diadsorpsi tergantung pada konsentrasi solut di sekitar solven. Makin tinggi konsentrasinya, makin besar pula zat yang diadsorpsi. Proses adsorpsi adalah keadaan setimbang. Apabila kecepatan suatu zat ditambah atau dikurangi maka akan terjadi keadaan setimbang yang baru.

Adsorben merupakan zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida. Adsorben biasanya menggunakan bahan-bahan yang memiliki pori-pori sehingga proses adsorpsi terjadi di pori-pori atau pada letakletak tertentu di dalam partikel tersebut. Pada umumnya pori-pori yang terdapat di adsorben biasanya sangat kecil, sehingga luas permukaan dalam menjadi lebih besar daripada permukaan luar. Pemisahan terjadi karena perbedaan bobot molekul atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan tersebut lebih erat daripada molekul lainnya (Saragih, 2008)

Syarat-syarat adsorben yang baik untuk proses adsorpsi, antara lain adalah sebagai berikut:

- c. Mempunyai daya serap yang tinggi
- d. Berupa zat padat yang mempunyai luas permukaan yang besar
- e. Tidak boleh larut dalam zat yang akan diadsorpsi
- f. Tidak boleh terjadi reaksi kimia dengan campuran yang akan dimurnikan
- g. Dapat diregenerasi kembali dengan mudah
- h. Tidak beracun
- i. Tidak meninggalkan residu berupa gas yang berbau
- j. Mudah didapat dan harganya murah

Ada dua metode yang biasa digunakan dalam sintesis adsorben, yaitu secara *top down* dan *bottom up*. *Top down* merupakan pembuatan struktur adsorben dengan memperkecil material yang besar, sedangkan *bottom-up* merupakan cara merangkai atom atau molekul dan menggabungkannya melalui

reaksi kimia untuk membentuk adsorben (Greiner, 2009). Contoh metode *top down* adalah penggerusan dengan alat *milling*, sedangkan teknologi *bottom up* yaitu menggunakan teknik sol-gel, presipitasi kimia, dan aglomerasi fasa gas (Dutta, 2005).

Teknologi *bottom up* dimulai dengan molekul dan bahan aktif yang dilarutkan dengan pelarut organik kemudian pelarut dihilangkan. Teknologi *top down* menggunakan berbagai jenis penggilingan dan teknik homogenisasi. Teknologi *top down* lebih populer dibandingkan teknologi *bottom up*. *Top down* adalah proses yang memecah kristal partikel besar menjadi potongan-potongan kecil (Gulsun dkk, 2009).

Secara garis besar, sintesis adsorben akan masuk dalam dua kelompok besar, yaitu *top-down* dan *bottom-up*. *Top-down* adalah memecah partikel berukuran besar menjadi partikel berukuran kecil. Contoh metode *top-down* adalah penggerusan dengan alat *milling*. *Bottom-up* adalah mereaksikan sejumlah material awal dengan pereaksian kimia sehingga dihasilkan material lain (Abdullah, 2008). Contoh metode *bottom up* yaitu menggunakan teknik sol-gel dan presipitasi kimia (Dutta dkk, 2005).

2.3.1 Metode sol gel

Metode sol gel adalah proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, dimana pada proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinu (gel) (Fernandez, 2012). Metode sol gel memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan.

Kelebihan metode sol gel dibandingkan dengan metode konvensional antara lain:

- a. Kehomogenan yang lebih baik
- b. Kemurnian yang tinggi
- c. Suhu relatif rendah
- d. Tidak terjadi reaksi dengan senyawa sisa

Kekurangan metode sol gel, antara lain:

- a. Penyusutan yang besar selama proses pengeringan
- b. Menggunakan pelarut organik yang berbahaya bagi kesehatan

Dalam proses sol-gel, ada beberapa faktor yang berpengaruh dalam menghasilkan produk yang diinginkan, yaitu:

a. Senyawa

Senyawa yang digunakan sebagai bahan awal pada reaksi hidrolisis dan kondensasi disebut prekursor. Persyaratan umum dari prekursor yang digunakan adalah harus dapat larut dalam media reaksi dan harus cukup reaktif dalam pembentukan gel. Perbedaan senyawa alkoksida yang digunakan sebagai prekursor dalam proses sol-gel akan memberikan perbedaan yang jelas pada densitas, ukuran pori dan luas permukaan gel.

b. Pelarut

Pada tahap awal pelarut digunakan untuk menghomogenkan campuran bahan dasar dan air karena sifat kepolarannya berbeda. Pelarut berfungsi untuk menghalangi pemisahan fasa cair-cair pada waktu reaksi hidrolisis dan mengontrol konsentrasi logam. Pelarut yang umum digunakan dalam reaksi pembentukan gel adalah alkohol. Hal ini disebabkan karena alkohol mempunyai tekanan uap yang lebih tinggi pada temperatur kamar.

c. Temperatur

Temperatur dalam proses sol-gel akan mempengaruhi kecepatan pembentukan gel. Proses sol-gel yang telah dilakukan pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur kamar menyebabkan laju hidrolisis akan menjadi cepat dan juga menyebabkan gel cepat terbentuk.

2.3.2 Metode kopresipitasi

Metode kopresipitasi adalah salah satu metode sintesis senyawa anorganik yang didasarkan pada pengendapan lebih dari satu substansi secara bersama-sama ketika melewati titik jenuhnya, produk dari metode ini memiliki ukuran partikel yang lebih besar dibandingkan dengan metode sol gel. Beberapa zat yang paling umum digunakan sebagai zat pengendap dalam kopresipitasi antara lain hidroksida, karbonat, sulfat dan oksalat (Fernandez, 2012).

Salah satu metode sintesis pada reaksi padat-cair yang paling sederhana dan paling tua adalah metode kopresipitasi. Padatan yang dihasilkan dari metode

kopresipitasi stabil dan tidak dapat larut dalam pelarut. Proses kopresipitasi melibatkan kation logam dari medium tertentu diendapkan secara bersama dalam bentuk hidroksida, karbonat, oksalat, atau sitrat. Endapan dikalsinasi pada temperatur tertentu sehingga menghasilkan produk dalam bentuk bubuk. Proses kopresipitasi melibatkan kontrol konsentrasi pelarut dan pengendap, temperatur, kecepatan pengadukan dalam pembuatan produk (Ningsih, 2016).

Kopresipitasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk membuat preparasi material nanopartikel. Prinsip kerja metode ini adalah dengan mengubah suatu garam logam menjadi endapan dengan menggunakan pengendap basa hidroksida atau karbonat yang kemudian diubah ke bentuk oksidanya dengan cara pemanasan (Zainuri, 2013). Dalam metode ini menggunakan pasangan asam dan basa. Asam berfungsi sebagai pelarut dan basa membawa zat terlarut kebawah sehingga terbentuk endapan yang dikehendaki. Sintesis nanopartikel magnetit dengan metode kopresipitasi diharapkan memiliki sifat monodispersif. Sifat monodispersif artinya partikel magnetit terdistribusi secara merata atau seragam (Mairoza, 2016).

Hasil endapan yang terbentuk dipengaruhi oleh konsentrasi pelarut dan pengendap, suhu pemanasan, serta durasi pengadukan. Penggunaan metode 14 kopresipitasi dengan variasi konsentrasi larutan garam besi dan larutan pengendap mempengaruhi jumlah serbuk dan sifat magnetik dari magnetit yang terbentuk (Aji, 2008).

2.4 Kontaminasi Logam Berat dalam Limbah

Menurut Connell (2006), logam berat adalah suatu logam dengan berat jenis lebih besar dari 5 g/cm³. Logam berat dalam perairan dapat terakumulasi pada padatan di dalam perairan seperti sedimen. Pada umumnya logam berat yang terakumulasi di dalam sedimen tidak berbahaya, namun adanya pengaruh kondisi kimia akuatik seperti perubahan pH dapat menyebabkan logam berat yang terakumulasi pada sedimen terionisasi ke perairan. Hal ini menjadikan logam-logam berat bersifat racun bagi kehidupan perairan (Connel, 1995).

Pencemaran logam berat dapat merusak lingkungan perairan dalam hal stabilitas dan keanekaragaman ekosistem. Kerusakan ekosistem perairan akibat pencemaran logam berat dipengaruhi oleh kadar dan sumber zat pencemar yang

masuk dalam perairan, sifat toksisitas, dan bioakumulasi. Pencemaran logam berat dapat menyebabkan terjadinya kerusakan sistem perairan laut (Darmono, 2001).

Beberapa logam berat yang beracun meliputi As, Fe, Cu, Pb, Hg, Ni dan Zn (Said, 2010). Namun demikian beberapa logam berat merupakan unsur esensial bagi tanaman atau hewan. Logam berat berbahaya bagi manusia karena dapat mengakibatkan efek biotoksik pada manusia yang kemudian menimbulkan penyakit akut maupun kronis. Organisasi kesehatan dunia (*World Health Organization/WHO*) menemukan bahaya kesehatan yang dapat ditimbulkan dari keberadaan logam berat di rantai makanan (Srivastava, 2010).

Logam berdasarkan toksisitasnya dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu :

1. Toksisitas tinggi, contohnya merkuri (Hg), cadmium (Cd), timbal (Pb), arsen (As), tembaga (Cu), dan besi (Fe)
2. Toksisitas sedang, contohnya kromium (Cr), nikel (Ni), dan kobalt (Co)
3. Toksisitas rendah, contohnya mangan (Mn), dan besi (Fe) (Darmono, 1995)

Menurut Soepardi (1983) pencemaran tanah merupakan keadaan yang terjadi saat bahan kimia masuk dan merubah lingkungan tanah alami. Pencemaran ini biasanya terjadi karena kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial, dan penggunaan pestisida. Selain itu, air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah juga memberikan kontribusi besar dalam pencemaran lingkungan. Kisaran logam berat sebagai pencemar dalam tanah dan tanaman dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Kisaran Logam Berat sebagai Pencemar dalam Tanah dan Tanaman

Unsur	Kisaran Kadar Logam Berat (ppm)	
	Tanah	Tanaman
As	0,1-40	0,1-5
B	2-100	30-75
F	30-300	2-20
Cd	0,1-7	0,2-0,8
Mn	100-4000	15-200
Ni	10-1000	1
Zn	10-300	15-200
Cu	2-100	4-15
Pb	2-200	0,1-10

Sumber: (Juhriah, 2016)

Logam berat dapat diperoleh dari larutan, erosi batuan tambang dan vulkanis proses alam seperti perubahan siklus alami mengakibatkan batuan-batuan dan gunung berapi yang memberikan kontribusi yang sangat besar lingkungan. Selain itu masuknya logam berat juga berasal dari aktivitas manusia, seperti pertambangan minyak, emas dan batu bara, pembangkit tenaga listrik, pestisida, keramik, peleburan logam dan pabrik-pabrik pupuk serta kegiatan industri lainnya. Adanya logam berat di perairan memiliki dampak yang berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat. Beberapa logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan salah satu diantaranya adalah logam besi (Fe) dan tembaga (Cu). Logam dalam peranannya memiliki sifat sebagai berikut :

1. Memiliki kemampuan yang baik dalam penghantar listrik (konduktor)
2. Memiliki kemampuan yang baik dalam penghantar panas
3. Memiliki rapatan yang tinggi
4. Logam dapat ditempa dan dibentuk

2.4.1 Besi (Fe)

Besi (Fe) adalah logam-logam yang berwarna putih keperakan, liat dan dapat di bentuk. Fe di dalam susunan unsur berkala termasuk logam golongan VIII B, dengan berat atom 55,85 g.mol⁻¹ , nomor atom 26, berat jenis 7.86 g.cm⁻³ dan umumnya mempunyai valensi 2 dan 3 (selain 1, 4, 6). Besi (Fe) adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi, jarang dijumpai dalam keadaan bebas, untuk mendapatkan unsur besi campuran lain harus dipisahkan melalui kimia (Eaton, 2005).

Besi adalah logam yang berasal dari bijih besi (tambang) yang banyak digunakan untuk kehidupan manusia sehari-hari. Dalam tabel periodik, besi mempunyai simbol Fe dan nomor atom 26. Besi juga mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Besi telah ditemukan sejak zaman dahulu dan tidak diketahui siapa penemu sebenarnya dari unsur ini.

Besi dan unsur keempat banyak di bumi dan merupakan logam yang terpenting dalam industri. Besi murni bersifat agak lunak dan kenyal. Oleh karena itu, dalam industri, besi selalu dipadukan dengan baja. Baja adalah berbagai

macam paduan logam yang dibuat dari besi tuang kedalamnya ditambahkan unsur-unsur lain seperti Mn, Ni, V, atau W tergantung keperluannya. Besi tempa adalah besi yang hampir murni dengan kandungan sekitar 0.2% karbon

Besi adalah logam yang paling banyak dan paling beragam penggunaannya. Hal itu karena beberapa hal, diantaranya :

- a. Kelimpahan besi di kulit bumi cukup besar
- b. Pengolahannya relatif lebih mudah dan murah
- c. Besi mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan dan mudah dimodifikasi

Besi merupakan elemen kimiawi yang dapat ditemukan hampir di setiap tempat di bumi pada semua lapisan-lapisan, namun besi juga merupakan salah satu logam berat yang berbahaya apabila kadarnya melebihi ambang batas besi (Dimas, 2006). Pada umumnya besi yang ada di dalam air dapat bersifat terlarut sebagai Fe^{2+} atau Fe^{3+} . Besi terlarut dalam air dapat berbentuk kation ferro (Fe^{2+}) atau kation ferri (Fe^{3+}). Hal ini tergantung kondisi pH dan oksigen terlarut dalam air. Konsentrasi besi terlarut yang masih diperbolehkan dalam air adalah 0,3 mg/L (Yuliana, 2009).

1. Sifat Fisik dan Kimia Besi (Fe)

Rumus Kimia	: Fe
Nomor Atom	: 26
Nomor Massa	: 57
Golongan, periode	: 8,4
Massa Atom	: 55,85 g/mol
Konfigurasi Elektron	: [Ar] 3d ⁶ 4s ²
Penampilan	: Metalik dan Mengkilap keabu-abuan
Fase	: Padat
Massa Jenis (Suhu Kamar)	: 7,86 g/cm ³
Titik Lebur	: 1538 °C
Titik Didih	: 2861 °C
Massa Jenis	: 7,86 g/m ³ (Suhu kamar)
Kapasitas Kalor	: (25 °C) 25,10 J/ (mol.K)

2. Dampak Besi (Fe) dalam Air

Konsentrasi besi terlarut dalam air yang masih diperbolehkan adalah 0,3 mg/L. Apabila konsentrasi besi terlarut dalam air melebihi batas tersebut akan menyebabkan:

a. Gangguan teknis

Endapan $\text{Fe}(\text{OH})_2$ bersifat korosif terhadap pipa dan akan mengendap pada saluran pipa sehingga mengakibatkan pembuntuan dan efek-efek yang dapat merugikan seperti mengotori bak, wastafel, dan kloset.

b. Gangguan fisik

Gangguan fisik yang ditimbulkan oleh adanya besi yang terlarut dalam air adalah timbulnya warna, bau, dan rasa. Air akan terasa tidak enak bila konsentrasi besi yang terlarut $> 1,0 \text{ mg/L}$ (Sutrisno, 2004).

c. Gangguan kesehatan

Senyawa besi dalam tubuh manusia berfungsi sebagai pembentuk sel-sel darah merah, dimana tubuh memerlukan 7 – 35 mg/hari. Tetapi zat besi yang melebihi dosis yang diperlukan oleh tubuh dapat menimbulkan masalah kesehatan. Air minum yang mengandung besi cenderung menimbulkan rasa mual apabila dikonsumsi. Selain itu, dalam dosis besar dapat merusak dinding usus. Kadar Fe yang lebih dari 1,0 mg/L akan menyebabkan terjadinya iritasi pada mata dan kulit, dan kerusakan pancreas sehingga menimbulkan diabetes (Kurniyati, 2012).

2.4.2 Tembaga (Cu)

Tembaga yang memiliki nama kimia cuprum dilambangkan dengan Cu dalam sistem periodik. Tembaga umumnya berwarna merah dan berbentuk kristal. Berat jenis tembaga adalah $8,9 \text{ kg/dm}^3$ dengan titik lebur 1083°C . Dalam tabel periodic unsur-unsur kimia, Cu merupakan salah satu logam transisi yang berada pada golongan IB, periode 4 dengan nomor atom 29 dan mempunyai massa atom relatif (Ar) 63,546 g/mol (Dwijayanti, 2016).

Sifat-sifat Tembaga Sifat Fisika

- Lambang : Cu

- No. Atom : 29
- Golongan, periode : 14,4
- Penampilan : kemerah-merahan
- Massa Atom : 63,546 g/mol
- Konfigurasi Elektron : [Ar] 3d10s1
- Fase : Padat
- Massa Jenis (suhu kamar) : 8.94 g/cm³
- Titik Lebur : 1357,77 K, 1084,62 °C, 1984,32°F
- Titik Didih : 2835 K, 2562 °C, 1984,32°F
- Kapasitas Kalor : 24.44 J mol⁻¹K⁻¹
- Unsur ini sangat mudah dibentuk, lunak, sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis, kawat.
- Bersifat sebagai konduktor panas dan listrik yang bagus untuk aliran elektron.
- Tembaga bersifat keras bila tidak murni.

Menurut Darmono (1995), faktor yang menyebabkan logam berat termasuk dalam kelompok zat pencemar adalah karena adanya sifat-sifat logam berat yang tidak dapat terurai (*nondegradable*) dan mudah diadsorpsi. Sifat logam berat sangat unik karena tidak dapat dihancurkan secara alami dan cenderung terakumulasi dalam rantai makanan melalui proses biomagnifikasi. Pencemaran logam berat ini menimbulkan berbagai permasalahan di antaranya:

1. Berhubungan dengan estetika (perubahan bau, warna, dan rasa air).
2. Berbahaya bagi kehidupan tanaman dan binatang.
3. Berbahaya bagi kesehatan manusia.
4. Menyebabkan kerusakan pada ekosistem

Babich dan Stotzky (1978) mengemukakan bahwa berbagai faktor lingkungan berpengaruh terhadap logam berat yaitu keasaman tanah, bahan organik, suhu, tekstur, mineral liat, kadar unsur lain (Pratikto, 2014). Logam Tembaga (Cu) dapat masuk ke dalam semua strata lingkungan, baik itu pada strata perairan, tanah ataupun udara (lapisan atmosfer). Tembaga (Cu) yang masuk dalam ketiga strata lingkungan tersebut dapat datang dari bermacam-macam sumber. Tetapi sumber-sumber masukan logam tembaga ke dalam strata

lingkungan yang umum dan diduga paling banyak adalah dari kegiatan-kegiatan perindustrian, kegiatan rumah tangga dan dari pembakaran serta mobilitas bahan-bahan bakar (Palar, 2008).

Toksitas logam tembaga yang terjadi pada manusia khususnya terjadi pada anak-anak yang biasanya terjadi karena adanya tembaga sulfat, beberapa gejala keracunan tembaga adalah sakit perut, mual, muntah, diare dan beberapa kasus yang parah yang dapat menyebabkan gagal ginjal dan kematian (Darmono, 2001).

Secara biologis Cu tersedia dalam bentuk Cu^+ atau Cu^{2+} dalam garam inorganik dan kompleks inorganik. Perpindahan Cu dengan konsentrasi relatif tinggi dari lapisan tanah bumi ditentukan oleh cuaca, proses pembentukan tanah, pengairan, potensial oksidasi reduksi, jumlah bahan organik di tanah dan pH. Kondisi tanah yang asam akan meningkatkan kelarutan Cu, sedangkan pada kondisi basa Cu cenderung dipresipitasi oleh tanah sehingga akan terlarut dan terbawa air yang mengakibatkan defisiensi Cu pada tanaman. Pada tanaman, Cu diakumulasi di akar dan dinding sel serta didistribusikan melalui berbagai cara.

Logam Cu dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh, maka apabila konsentrasinya cukup besar logam ini akan meracuni manusia. Pengaruh racun yang ditimbulkan dapat berupa muntah-muntah, rasa terbakar di daerah eksofagus dan lambung, diare, yang kemudian disusul dengan hipotensi, dan koma. Konsentrasi Cu 2,5 – 3,0 ppm dalam badan perairan dapat membunuh ikan, bersifat racun terhadap semua tumbuhan pada konsentrasi larutan di atas 0,1 ppm. Cu dapat mempengaruhi sistem enzim, yaitu dengan menghambat enzim dihydrolipoyl dehydrogenase yang akan mengganggu metabolisme energi dalam sel (Widowati dkk, 2008).

Tembaga dapat digunakan sebagai bahan untuk kabel listrik dan kumparan dinamo. Tembaga juga bisa dipadukan, paduan tembaga 70% dengan seng 30% disebut kuningan, sedangkan paduan tembaga 80% dengan timah putih 20% disebut perunggu. Perunggu yang mengandung sejumlah fosfor sering digunakan dalam industri arloji dan galvanometer. Kuningan berwarna seperti emas sehingga banyak digunakan sebagai perhiasan atau ornamen-ornamen. Sedangkan perunggu banyak dijadikan sebagai perhiasan dan digunakan pada seni patung. Tembaga juga digunakan sebagai bahan penahan untuk bangunan dan beberapa bagian

dari kapal dan serbuk tembaga digunakan sebagai katalisator untuk mengoksidasi metanol menjadi metanal dan senyawa tembaga juga digunakan dalam kimia analitik dan penjernihan air, sebagai unsur dalam insektida, cat, obat-obatan dan pigmen.